

## Zuzmók, mint bioindikátorok

Pölös Endre, Vecseri Csaba, Hüvely Attila, Palkovics András, Pető Judit, Kirsch Bernadett,  
Baglyas Ferenc  
Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar Kertészeti Tanszék

**Összefoglalás:** A környezetvédelem napjaink egyik legfontosabb kérdése, ezáltal egyre nagyobb igény van a környezetet károsító tevékenységek szabályozására. Amellett, hogy a fizikai és kémiai mérőműszerek pontos mennyiségi adatokat szolgáltatnak a különböző szennyező anyagokról, mégsem adnak valós képet az élő szervezeteket érő szennyeződés mértékéről, illetve azok előidézett hatásáról. A környezetterhelés élőlényekre, valamint az élőhelyre kifejtett hatását bioindikációs tesztélőlények segítségével lehet kimutatni. Biológiai indikátornak *Cladonia* zuzmótelepeket választottunk. A zuzmótelep felépítésében található algasejtek fotoszintetikus aktivitását vizsgáltuk klorofill fluoreszcencia indukció módszerével a környezetkárosító hatások kimutatására. A környezetkárosító hatások a toxikus elemek /Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb/, toxikus gázok /NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>/. Vizsgálataink során mértük a toxikus elemek felhalmozódását *Cladonia* zuzmótelepekben.

**Abstract:** Environmental protection is one of the most important issues of our time; thereby there is an increasing awareness to regulate activities that degrade the environment pollution. Physical and chemical instrumentations provide accurate quantitative data to the various substances that are polluting but do not give a true picture of the extent of contamination that has impact on living organisms. The environmental impact on organisms and its effects on habitat can be detected by bioindicator plants. We chose *Cladonia* lichen as a biological indicator. We measured the photosynthetic activity of the algae cells and applied chlorophyll fluorescence induction method for the detection of environmental impacts. The most harmful toxic elements are Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb and toxic gases are NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>. We measured the accumulation of toxic elements in *Cladonia* lichen populations.

**Kulcsszavak:** *Cladonia* zuzmótelepek, biológiai indikátorok, toxikus gázok, toxikus elemek

**Keywords:** *Cladonia* lichen biological indicator, toxic gases, toxic elements

### 1. Bevezetés

Hosszú ideig érintetlenül hagyott területek vizsgálatára találtak alkalmasnak bizonyos zuzmófajokat, mint az ökológiai folytonosság indikátorfajait. Az ilyen indikátorfajok nehezen hódítanak meg újabb élőhelyeket. Ezért számukra az élőhely folyamatos megléte, illetve a megfelelő mikroklimatikus tényezőket biztosító, általában hatalmas méretű idős fák nélkülözhetetlenek. A lassan korhadó, igen kemény faanyag vagy a mély kéregbarázdák nélkülözhetetlenek lehetnek a túlélésükhöz. Emellett másodlagos fontosságú a zárt lombkoronaszint vagy az őserdők belsejében uralkodó humid környezet.

Az indikációban szerepet játszik a zuzmófajok különböző plazmatikus és ökológiai rezisztenciája, vízigénye, valamint a levegő relatív páratartalma és szennyezettsége. A kén-dioxidnak a zuzmóra gyakorolt toxikus hatása függ az aljzat pH-értékétől. A zuzmók különböző szubsztrátumokon fordulnak elő. Biológiai indikátorként elsősorban az epifiton zuzmók vehetők figyelembe. A kén-dioxid a zuzmótelepben szétrombolja a telítetlen zsírsavakat, ezzel magyarázzák a különböző zuzmófajok eltérő érzékenységét.

A zuzmók érzékenysége a különböző levegőszennyező anyagokkal szemben morfológiai, fiziológiai különbségekre vezethető vissza:

A kisebb klorofill tartalom következtében a lassú növekedése és ezáltal a korlátozott regenerációs képesség. A zuzmók vízháztartása szinte teljes egészében a levegő páratartalmától, illetve a csapadéktól függ, ezáltal az asszimilációs regenerációs idejük rövid.

A fotoszintézisre képes moszatsejtek autotróf, a kész szerves anyag felvételére képes gombafonalak. A zuzmók a környezetminőség változásának érzékeny indikátorai. A levegő minőségének zuzmó segítségével történő megállapítása közvetett (indirekt) biológiai monitoring. Egysejtű vagy fonalas kék- vagy zöldmoszatok és főként tömlősgombák szimbiózisából kialakult szervezetek. [1,2].

## 2. Anyag és módszer

A vizsgálatba vont *Cladonia* zuzmótelepeket a Kiskunsági Nemzeti Park érintetlen területéről gyűjtöttük be. A környezeti szennyeződés szimulálására a telepeket különböző káros környezeti hatásoknak (toxikus gázok:  $\text{SO}_2$  illetve  $\text{NO}_2$  és toxikus nehézfémek: Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb tettük ki. A kísérleteket zárt térben ( $0,3 \text{ m}^3$  tartály) végeztük, 0, 2, 4, 6, 8, illetve 10 órás kezelési időtartamban (100 mg/l koncentrációban).

A toxikus elemek felhalmozódását Kecskemét egyik fő közlekedési csomópontjának füves területén kihelyezett zuzmótelepek segítségével követtük. A behatási idő 90 nap volt. Kontrollként a Kiskunsági Nemzeti Parkból származó zuzmótelepeket használtuk fel. Mindkét területen négy-négy ismétlést alkalmaztunk. A vizsgált toxikus elemek: As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Pb és Se voltak.

### **A zuzmótelepek fotoszintézisének mérése fluoreszcencia indukciós módszerrel**

Az ún. Kautsky effektus során a gerjesztési energia a sötétben hirtelen megvilágított növényben indukált fénykibocsátást eredményez [3]. Mivel a sötétben nyitott reakciócentrumokat ilyenkor hirtelen telítjük, csökken a fotokémia határfoka, ami megnövekedett fluoreszcenciához vezet. Sötétadaptált minta megvilágításakor a fluoreszcencia nagyon rövid idő alatt egy kiindulási szintre ugrik, amit  $F_0$ -nak nevezünk, majd egy maximumot ér el ( $F_p$ ).  $F_m$  és  $F_0$  különbsége adja az ún. változó fluoreszcenciát ( $F_v$ ), ami a PSII fényenergia befogás határfokával arányos. Folytonos megvilágítás mellett a fluoreszcencia szintje fokozatosan lecsökken, köszönhetően a különböző kioltó mechanizmusoknak, mígnem eléri a folytonos szintet, melyet steady-state szintnek nevezünk. A fotokémiai és a nem fotokémiai kioltás műszeres elemzéssel, fluorométerekkel jól nyomon követhető. Kísérletünkben a Mini-Pam Walz Photosynthesis Yield Analyzer műszert használtuk. A klorofill fluoreszcencia jelensége nyomán vizsgálható a fotokémia határfoka és működésének egyéb paraméterei. A klorofill fluoreszcencia mérése során a növényi fotoszintetikus rendszerek azon tulajdonságát használjuk ki, mely szerint a fénygyűjtő pigment-rendszerből a bejutó fényenergia három különböző módon távozik. Az egyik a fotokémiai reakciók energiájaként történő hasznosítás, melynek során a klorofillok által elnyelt foton energiája elektront gerjeszt, ami így átadódik a fotokémiai rendszer egyes komponenseinek a PSII-ben, majd a PSI-ben. A beeső fényből felfogott felesleges energiát kétféle módon sugározhatja ki a növény. A hő formájában történő kibocsátás kevésbé jól mérhető, míg a fény formájában történő energiavesztést könnyen nyomon követhetjük. Ennek hullámhossza ugyanis jellemző, és mindig hosszabb a beeső fény hullámhosszánál. A felfogott és a kibocsátott fény hullámhossza közötti különbség megkönnyíti az érzékelést annak ellenére, hogy a klorofill fluoreszcencia mértéke a besugárzott fényhez képest viszonylag kicsi. A besugárzott fény ismeretében a növény által kibocsátott fluoreszcencia jól jellemzi a fotoszintézis működését.

A **toxikus elem tartalom vizsgálatokat** a Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Karán működő akkreditált Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumban szabvány szerinti módszerekkel, akkreditált módon végeztük. A zuzmómintákat alaposan megmostuk, majd 70 °C-on szárítószekrényben szárítottuk. Ezután a légszáraz levélmintákat darálással homogenizáltuk. A porított mintákat az elemanalitikai vizsgálatokhoz tömény salétromsav és hidrogén-peroxid jelenlétében mikrohullámú roncsolóval feltártuk (Milestone Ethos Plus). A legfontosabb toxikus elemek vizsgálata Ultima 2 típusú induktív csatolású plazma atomemissziós spektrométeren történt (ICP-AES készülék).

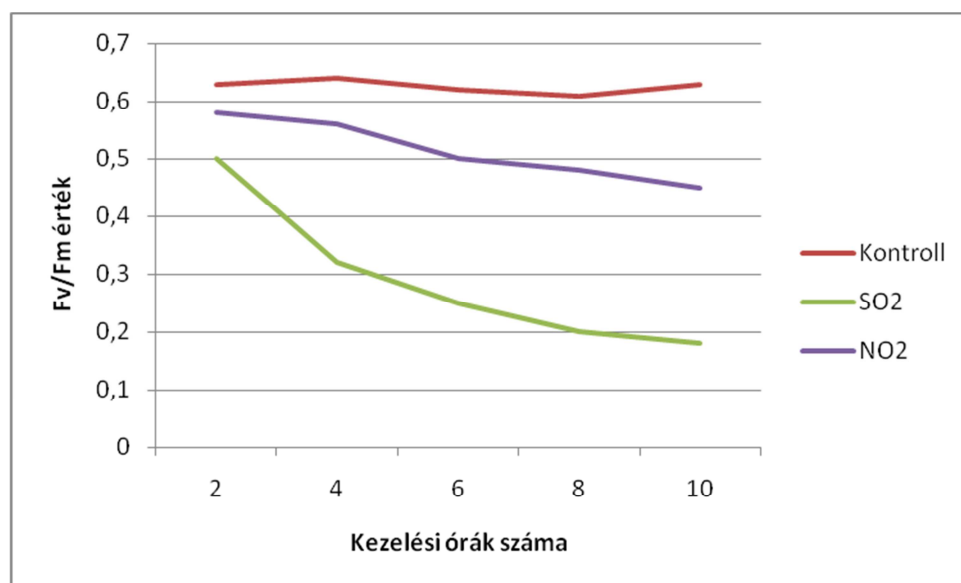
### 3. Eredmények

A zuzmótelepek fotoszintézis hatékonyságának vizsgálatát a klorofill fluoreszcencia mérése alapján szemléltettük.

A mérések eredményeit az 1. és 2. Táblázatban tüntettük fel, illetve az 1. ábra szemlélteti.

**1. Táblázat.** A 2. fotokémiai rendszer (PSII) hatásfoka (Fv/Fm) SO<sub>2</sub> és NO<sub>2</sub> kezelés hatására

Kezelés időtartama (óra)	Fv/Fm érték		
	Kontroll	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
2	0,63	0,50	0,58
4	0,64	0,32	0,56
6	0,62	0,25	0,50
8	0,61	0,20	0,48
10	0,63	0,18	0,45



**1. ábra:** A fotoszintetikus aktivitás vizsgálata fluoreszcencia indukcióval toxikus gázok hatására

**2. Táblázat.** Toxikus elemek (100 ppm koncentrációban) hatása a zuzmótelep fotoszintézisére

Kezelés időtartama (óra)	Fv/Fm értékek						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Kontroll
2	0,60	0,58	0,57	0,55	0,58	0,54	0,63
4	0,58	0,52	0,50	0,48	0,50	0,50	0,62
6	0,50	0,50	0,45	0,40	0,48	0,41	0,61
8	0,45	0,47	0,40	0,35	0,40	0,30	0,64
10	0,40	0,41	0,32	0,35	0,30	0,19	0,60

A 3. Táblázatban a közterületre kihelyezett zuzmótelepek toxikus elem felhalmozódása kerül bemutatásra. A kadmium felhalmozódása extrém magas volt, de jelentősnek bizonyult az ólom, króm és arzén tartalom növekedése is. A kobalt, szelén, nikkel és molibdén tartalom gyakorlatilag nem változott.

**3. Táblázat.** Toxikus elemek feldúsulása zuzmótelepekben (mg/kg összes elem tartalom légszáranyagban kifejezve (LOQ (Limit of Quantification): 0,500 mg/kg légsz.a.)

	As	Cd	Co	Cr	Mo	Ni	Pb	Se
K-1	0,637	18,4	0,544	26,3	<0,500	11,8	38,2	<0,500
K-2	0,751	19,8	0,558	28,0	<0,500	8,74	41,4	<0,500
K-3	0,706	14,1	<0,500	21,5	<0,500	7,49	31,5	<0,500
K-4	<0,500	18,5	<0,500	21,7	<0,500	5,99	37,5	<0,500
N-1	<0,500	<0,500	<0,500	9,89	<0,500	7,70	6,53	<0,500
N-2	0,532	<0,500	<0,500	11,5	<0,500	9,58	5,09	<0,500
N-3	<0,500	<0,500	<0,500	10,8	<0,500	9,74	5,44	<0,500
N-4	<0,500	<0,500	<0,500	10,2	<0,500	9,44	4,84	<0,500

K-1 – K-4: közterületen elhelyezett minták; N-1 - N-4: Nemzeti Park Cladonia minták

## 4. Következtetések

- A zuzmótelepek fotoszintézisét gátló toxikus elemek és gázok hatásai jól detektálhatók a fluoreszcencia Fv/Fm paraméterei segítségével.
- A toxikus gázok közül a kén-dioxid gázra, a toxikus elemek közül a rézre, a cinkre és az ólomra érzékenyek a zuzmó telepek elsősorban.
- A toxikus elemek Cladonia zuzmótelepekben történő feldúsulását kecskeméti városi környezetből származó / K-jelű minták/ valamint a Kiskunsági Nemzeti Park Fülöpházi buckáiról származó /N-jelű minták/ mintákban vizsgáltuk.
- Szennyezett városi környezetben a zuzmó telepek ólom, króm, kadmium és arzén toxikus elemeket akkumuláltak. Ezek az értékek a Nemzeti Park zuzmó mintáiban lényegesen alacsonyabbak voltak, vagy minimális koncentrációban voltak jelen.

## Irodalomjegyzék

- [1] Kovács M., Podani J., Tuba Z., Turcsányi G.: A környezetszennyezést jelző és mérő élőlények, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 1986.
- [2] Farkas Edit: Lichenológia: a zuzmók tudománya, MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kiadványa, Vácrátót, 2001.
- [3] Govindjee: Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. Aust. J. Plant Physiol. 22. 1995. 131-160.

## Szerzők

Dr. Pölös Endre: Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. polos.endre@kfk.kefo.hu  
Vecseri Csaba: Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. vecseri.csaba@kfk.kefo.hu  
Hüvely Attila: Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. huvely.attila@kfk.kefo.hu  
Dr. Palkovics András: Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. palkovics-andras@kfk.kefo.hu  
Dr. Pető Judit: Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. borsne.judit@kfk.kefo.hu  
Dr. Baglyas Ferenc, Kertészeti Tanszék, Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola. Kecskemét, Erdei F. tér 1-3., Magyarország. baglyas.ferenc@kfk.kefo.hu